

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Desain Awal Perencanaan

Secara umum, perencanaan merupakan salah satu langkah yang harus dilakukan untuk mendapatkan suatu hasil yang optimal dan sesuai harapan, dalam hal ini kekuatan struktural. Selain itu, faktor ekonomis suatu struktur juga harus diperhatikan agar diperoleh struktur yang optimal. Kekuatan struktur tidak bisa terlepas dari kekuatan masing-masing elemennya, sehingga dalam teori maupun praktiknya, terlebih dahulu dilakukan perencanaan terhadap elemen-elemen itu kemudian diperhatikan interaksi masing-masing untuk memperoleh kekuatan struktur secara menyeluruh pada suatu bangunan.

Tahap awal perencanaan dimulai dengan pendimensian elemen-elemen struktur berdasarkan taksiran-taksiran tertentu yang disesuaikan dengan data arsitektural berupa denah atau tata ruang bangunan. Selanjutnya dilakukan penyesuaian terhadap persyaratan dan peraturan yang berlaku, dalam hal ini SNI 03-1726-2002 untuk persyaratan strukturalnya dan ketahanan terhadap gempa. Selain itu, karena struktur yang dibahas di sini merupakan struktur beton bertulang, maka digunakan pula SNI 03-2847-2002 untuk persyaratan betonnya.

Pada tahap perencanaan yang ideal, umumnya akan dibahas perencanaan awal elemen-elemen struktur yang dimaksud, antara lain dimensi balok, kolom dan pelat lantai serta ketebalan dinding geser. Umumnya elemen-elemen struktur itu direncanakan berdasarkan denah atau tata ruang arsitektural, dengan tetap mempertimbangkan faktor-faktor lain yang tidak kalah penting, yakni kestabilan struktur yang pada akhirnya akan berpengaruh kepada ketahanan terhadap gempa dan *building durability*. Namun, berdasarkan beberapa pertimbangan, terutama karena perencanaan struktur gedung ini hanya dibatasi pada perencanaan dinding geser saja, maka komponen struktural lainnya seperti balok, kolom, dan pelat lantai menggunakan taksiran-taksiran kasar berdasarkan panjang bentang tanpa dilakukan tinjauan lebih lanjut mengenai kapasitas penampang tersebut. Pendimensian dilakukan pada dinding geser, dengan memperhatikan kekakuan lateral pada struktur yang bersangkutan dan persyaratan yang berlaku pada Sistem Ganda.

Berikut ini disajikan dimensi balok, kolom dan pelat dalam bentuk tabel:

Tabel 4.1 Dimensi balok

No.	Type Balok	Notasi	Bentang (cm)	Dimensi (cm x cm)
1	Induk	B1	900	75 x 40
2	Anak	B2	540	50 x 30
3	Memanjang	B3	540	50 x 30

Tabel 4.2 Dimensi kolom

No.	Type Kolom	Notasi	Dimensi (cm x cm)
1	I	K1	80 x 80
2	II	K2	50 x 50

Tabel 4.3 Tebal pelat

No.	Type Pelat	Tebal (cm)
1	Lantai	12
2	Atap	12

4.1.1. Menghitung Tebal Dinding Geser

Dinding geser pada sebuah struktur dengan sistem ganda berfungsi sebagai elemen utama penahan gaya lateral (selain portal SRPM yang memikul gaya lateral setidaknya 25% dari total beban lateral). Artinya, sebagian besar beban lateral ditumpu oleh dinding geser sehingga kekakuan lateralnya harus lebih besar daripada portal SRPM. Ketebalan dinding geser dapat dihitung dengan membandingkan kekakuan relatifnya terhadap kolom.

Data-data yang diketahui:

Mutu beton f'_c = 30 MPa

Modulus elastisitas E_c = $4700\sqrt{f'_c} = 257429,602 \text{ kg/cm}^2$

Lantai 1 s/d 3

Ukuran Kolom K_1 = 80 cm x 80 cm

Jumlah Kolom = 40 buah

Ukuran Kolom K_2 = 40 cm x 40 cm

Jumlah Kolom = 8 buah

Bentang dinding geser (d) = 450 cm

Jumlah dinding geser = 2 buah

Tinggi dinding geser (L) = 450 cm

Lebar dinding geser (b) = dicari

Syarat tahanan gempa pada Sistem Ganda yaitu kekakuan pada Portal SRPM minimal 25% dan portal dinding geser 75% dari kekakuan total.

Untuk kolom K₁;

$$k_{SRPM} = \frac{E x I_{eff}}{l} = \frac{E x 0,75 x I_K}{l} = \frac{257429,602 x 0,75 x \frac{1}{12} x 80 x 80^3}{4,5} = 1464488403 \text{ kg/cm}$$

Untuk kolom K₂;

$$k_{SRPM} = \frac{E x I_{eff}}{l} = \frac{E x 0,75 x I_K}{l} = \frac{257429,602 x 0,75 x \frac{1}{12} x 50 x 50^3}{4,5} = 91530525 \text{ kg/cm}$$

$$K_{SRPM} = k_{SRPM} (1) + k_{SRPM} (2) = 59311780307 \rightarrow 25\% \text{ dari } K_{Total}$$

Untuk dinding geser;

$$k_{DS} = \frac{E x I_{eff}}{l} = \frac{E x 0,6 x I_{DS}}{l} = \frac{257429,602 x 0,6 x \frac{1}{12} x b x 450^3}{4,5} = 2606474721 \text{ b}$$

→ 75% dari K_{Total}

Sehingga, $k_{DS} = 3 \times K_{SRPM} = 3 \times 1464488403 = 177935340921,36 \text{ kg/m}$

$$2606474721 \text{ b} = 177935340921,36 \text{ kg/m}$$

$$b = 68,267 \text{ cm} \quad (\text{untuk 2 dinding geser})$$

$$b = 34,133 \text{ cm}$$

Dipakai $b = 30 \text{ cm}$ (pembulatan ke bawah agar proporsi kekakuan pada SRPM tidak kurang dari 25%).

Dengan cara yang sama, untuk lantai 4 sampai dengan lantai 7 didapatkan ketebalan dinding geser sebesar 25 cm.

4.1.2. Penempatan Dinding Geser

Salah satu hal pokok yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan dinding geser pada Sistem Ganda adalah penempatan dinding geser. Dalam sistem gedung tinggi yang bentuknya tidak beraturan, seringkali terjadi eksentrisitas yang berlebihan. Eksentrisitas pada gedung terjadi karena tidak berimpitnya pusat massa dan pusat kekakuan gedung. Eksentrisitas yang besar dapat menyebabkan rotasi pada gedung. Untuk itu, dinding geser harus ditempatkan sedemikian rupa untuk membatasi eksentrisitas itu, atau dengan kata lain agar didapatkan eksentrisitas sekecil mungkin. Selain itu, yang harus menjadi pertimbangan adalah bentuk denah gedung dan tata guna lantai, di mana dinding geser yang menerus umumnya diletakkan di dekat tangga atau

lift untuk menghindari terganggunya sirkulasi ruang dan menjaga kenyamanan pengguna gedung. Dengan beberapa pertimbangan di atas, maka dinding geser ditempatkan pada portal B dan K.

4.2. Desain Struktur Bangunan

4.2.1. Data Bangunan

Struktur gedung	: struktur beton bertulang
Lokasi	: Jalan Veteran Malang
Zona gempa	: zona 4 (menengah)
Jenis tanah	: tanah keras
Jumlah lantai	: 7 Lantai
Tinggi lantai dasar	: 4,5 m
Tinggi tiap lantai	: 4,5 m
Tinggi bersih gedung	: 31,5 m
Bentang melintang	: ± 27,6 m
Bentang memanjang	: ± 59,4 m

4.2.2. Mutu Bahan yang Digunakan

Mutu beton	: f'_c 30 MPa
Mutu baja tulangan utama	: f_y 400 MPa
Mutu baja tulangan sengkang	: f_{ys} 240 MPa
Modulus elastisitas baja (E_s)	: 200000 Mpa

4.3. Pembebanan

4.3.1. Beban Mati

Sesuai dengan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung tahun 1983 (PPIUG 1983), beban mati diatur sebagai berikut:

Berat isi beton	=	2400	kg/m ³
Berat spesi per cm tebal	=	21	kg/m ²
Berat keramik	=	24	kg/m ²
Berat pasangan bata merah ½ batu	=	250	kg/m ²
Berat eternit + penggantung langit-langit	=	11 + 7 = 18	kg/m ²

4.3.2. Beban Hidup

Sesuai dengan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung tahun 1983 (PPIUG 1983), beban hidup diatur sebagai berikut:

Ruang kuliah dan kantor	=	250	kg/m ²
Ruang pertemuan dan rapat	=	400	kg/m ²
Ruang alat-alat, mesin, gudang dan perpustakaan	=	400	kg/m ²
Balkon	=	300	kg/m ²
Ruang pelengkap	=	250	kg/m ²
Tangga dan Lorong Ruang Kuliah	=	300	kg/m ²
Tangga dan Lorong Ruang Pertemuan	=	500	kg/m ²
Beban hidup atap	=	100	kg/m ²

4.3.3. Pembebanan pada Pelat

Tebal Pelat	=	120	mm
Berat isi beton	=	2400	kg/m ³
Berat spesi per cm tebal	=	21	kg/m ²
a. Beban Mati pada Pelat			
Berat sendiri Pelat	=	288	kg/m ²
Spesi 3 cm	=	63	kg/m ²
Keramik	=	24	kg/m ²
Plafon & penggantung	=	18	kg/m ² +
Total beban mati	=	393	kg/m ²
b. Beban Hidup pada Pelat			
Sesuai denah tata guna ruangan pada lantai bangunan (lihat lampiran 1)			

4.4. Perhitungan Massa Bangunan dan Eksentrisitas

4.4.1. Massa Bangunan

Massa bangunan digunakan untuk menghitung beban lateral (beban gempa) yang bekerja sesuai tinggi bangunan (rincian perhitungan massa bangunan pada lampiran 2).

Tabel 4.4 Massa bangunan

Level	Beban Mati (kg)	Beban Hidup yang Direduksi 50% (kg)	Total (kg)
1	1450730,41	145465,88	1596196,28
2	1213121,75	132600,75	1345722,50
3	1183867,25	132600,75	1316468,00
4	999819,23	127778,25	1127597,48
5	1003615,61	115178,25	1118793,86
6	992901,44	109490,63	1102392,07
7	783509,04	41664,00	825173,04
Jumlah Massa Bangunan			8432343,21

4.4.2. Eksentrisitas Bangunan

Eksentrisitas bangunan merupakan selisih jarak antara pusat kekakuan (rotasi) dengan pusat massa. Dalam hubungannya dengan ketahanan terhadap gempa dan stabilitas gedung secara keseluruhan, eksentrisitas perlu dibatasi agar deformasi yang terjadi pada gedung hanya sebatas translasi dan tidak terjadi rotasi. Sehingga, besarnya eksentrisitas perlu direncanakan sekecil mungkin, atau paling tidak dibatasi agar tidak terlalu besar. eksentrisitas dipengaruhi oleh bentuk denah gedung, loncatan bidang muka, tonjolan, pengaturan tata guna lantai dan penempatan unsur-unsur pengaku lateral seperti kolom dan dinding geser. Berikut ini disajikan hasil perhitungan pusat kekakuan, pusat massa dan eksentrisitas yang rinciannya ada di lampiran 2.

Tabel 4.5 Pusat kekakuan bangunan dalam arah memanjang

Lantai	Pusat Kekakuan Arah Y (m)
1	29,70
2	29,70
3	29,70
4	29,70
5	29,70
6	29,70
7	29,70

Tabel 4.6 Pusat massa bangunan dalam arah memanjang

Level	Pusat Massa Arah Y (m)
1	29,64
2	29,61
3	29,61
4	29,74
5	29,45
6	29,67
7	29,70

Tabel 4.7 Eksentrisitas bangunan dalam arah memanjang

Level	Pusat Kekakuan Arah Y (m)	Pusat Massa Arah Y (m)	Eksentrisitas Arah Y (m)
1	29,70	29,642	0,058
2	29,70	29,608	0,092
3	29,70	29,606	0,094
4	29,70	29,741	0,041
5	29,70	29,450	0,250
6	29,70	29,665	0,035
7	29,70	29,700	0,000

Menghitung Eksentrisitas Rencana Sesuai dengan SNI 03-1726-2002.

Lebar bangunan (b) = 59.4 (tegak lurus arah gempa yang ditinjau)

Eksentrisitas (e) = 0,25 m (eksentrisitas massa terbesar)

Sesuai dengan pasal 5.4.3 SNI 03-1726-2002 yaitu; antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat harus ditinjau suatu eksentrisitas rencana ed.

Pemeriksaan persyaratan untuk penggunaan rumus 21 atau 22 dalam SNI 03-1726-2002

$$0 < e < 0,3 b$$

$$0 < 0,25 < 17,82 \quad (\text{memenuhi syarat})$$

Dengan demikian, penempatan dinding geser dengan ukuran 450 cm x 30 cm (lantai 1 s/d 3) dan 450 xm x 25 cm (lantai 4 s/d 7) pada portal B dan K sudah memenuhi syarat.

4.5. Menghitung Gaya Geser Akibat Gempa

4.5.1. Menghitung Waktu Getar Alami Gedung

Sesuai Pasal 5.6 SNI-1726-2002, waktu getar alami gedung harus dibatasi agar tidak terlalu fleksibel. Syarat: $T_{empiris} < T$

Rumus empiris *Method A UBC Section 1630.2.3*:

$$T_{\text{empiris}} = C_t \times h_n^{3/4} \quad (4-1)$$

Yang mana untuk Sistem Ganda, $C_t = 0,0731$, sedangkan h_n adalah tinggi bersih gedung dari taraf penjepitan, yaitu = 31,5 m, sehingga:

$$\begin{aligned} T_{\text{empiris}} &= 0,0731 \times 31,5^{3/4} \\ &= 0,972 \text{ detik} \end{aligned}$$

Waktu getar alami fundamental

$$T = \zeta \times n \quad (4-2)$$

Yang mana untuk tanah keras pada zona gempa 4, $\zeta = 0,17$ (SNI 03-1726-2002, Pasal 5.6) dan n adalah jumlah lantai (*number of story*), sehingga:

$$\begin{aligned} T &= 0,17 \times 7 \\ &= 1,190 \text{ detik} \end{aligned}$$

$T_{\text{empiris}} (0,972 \text{ detik}) < T (1,190 \text{ detik})$ (memenuhi syarat)

4.5.2. Menghitung Gaya Geser Dasar Nominal (Beban Gempa Statik Ekuivalen V)

Gaya geser dasar nominal

$$V = \frac{C_1 \cdot I \cdot W_t}{R} \quad (4-3)$$

Keterangan:

$C_1 = 0,3$ (untuk wilayah gempa 4, dengan $T = 1,190$ detik)

SNI-1726-2002 Gambar 2 halaman 22

$I = 1$ (untuk gedung umum dan perkantoran)

SNI-1726-2002 Tabel 1 halaman 1

$W_t = 8432343,21 \text{ kg}$ (berat total gedung)

$R = 6,5$ (untuk Sistem Ganda)

SNI-1726-2002 Tabel 3 halaman 16

$$V = \frac{0,3 \times 1 \times 8432343,21}{6,5}$$

$$= 327046,28 \text{ kg}$$

4.5.3. Distribusi Gaya Geser F_i

Distribusi gaya geser dasar horizontal

$$F_i = \frac{W_i \cdot z_i \cdot V}{\sum W_i \cdot z_i} \quad (2-12)$$

Keterangan:

F_i = Gaya geser horizontal pada lantai ke- i

V = Gaya geser total

z_i = Berat bangunan lantai ke- i

W_i = Tinggi lantai ke- i terhadap muka tanah

Distribusi gaya geser dasar horizontal disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.8 Distribusi gaya geser horizontal

Level ke	z_i (m)	W_i (kg)	$W_i \times z_i$ (kgm)	V (kg)	F_i (kg)	ΣF_i (kg)
7	31,5	825173,04	25992950,76	327046,28	61469,82	61469,82
6	27	1102392,07	29764585,82		70389,22	131859,04
5	22,5	1118793,86	25172861,74		59530,42	191389,45
4	18	1127597,48	20296754,55		47999,08	239388,53
3	13,5	1316468,00	17772317,93		42029,13	281417,66
2	9	1345722,50	12111502,46		28642,07	310059,73
1	4,5	1596196,28	7182883,27		16986,55	327046,28
	Σ	8432343,21	138293856,53			

4.5.4. Distribusi Gaya Geser F_i pada Tiap Portal

Sistem Ganda mensyaratkan bahwa Sistem Rangka Pemikul Momen harus mampu memikul minimal 25% beban lateral, sedangkan sisanya sebesar 75% ditumpu oleh dinding geser. Persentase beban sebesar itu dibagi sesuai jumlah portal. Ini berarti, untuk dua portal dinding geser masing-masing portal akan menerima gaya lateral sebesar 75% F_i dibagi dua, yaitu sebesar 37,5%. Untuk lebih jelasnya, pembagian gaya geser digambarkan pada skema berikut:

Sedangkan perhitungan distribusi gaya geser disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.9 Distribusi gaya geser tiap portal

Level	Jumlah Portal SRPM	% Beban Tiap Portal	Beban Tiap Portal (kg)	% Beban Portal Tepi	Beban Tiap Portal (kg)	Dinding Geser	% Beban Tiap Portal	Beban Tiap Portal (kg)
7	10	2,78%	1707,49	1,39%	853,75	2	37,50%	23051,18
6	10	2,78%	1955,26	1,39%	977,63	2	37,50%	26395,96
5	10	2,78%	1653,62	1,39%	826,81	2	37,50%	22323,91
4	10	2,78%	1333,31	1,39%	666,65	2	37,50%	17999,66
3	12	2,27%	955,21	1,14%	477,60	2	37,50%	15760,92
2	12	2,27%	650,96	1,14%	325,48	2	37,50%	10740,77
1	12	2,27%	386,06	1,14%	193,03	2	37,50%	6369,96

4.5.5. Gaya Dalam (D, M dan N) pada Dinding Geser

Dari besarnya gaya F_i yang bekerja pada portal dinding geser, didapatkan gaya lintang D dan momen lentur M. Analisis terhadap beban mati dan beban hidup pada *tributary area* (daerah yang didukung) dinding geser, menghasilkan gaya aksial N. Berikut ini tabel hasil perhitungan gaya-gaya dalam D, M dan N yang rinciannya ada di lampiran 3.

Tabel 4.10 Gaya dalam pada dinding geser

Level	h (m)	Gaya Dalam		
		D (kN)	M (kNm)	N (kN)
7	31,5	226,13	0	397,40
6	27	485,08	1017,59	842,81
5	22,5	704,07	3200,44	1305,52
4	18	880,65	6368,77	1768,22
3	13,5	1035,27	10331,70	2239,30
2	9	1140,63	14990,39	2710,38
1	4,5	1203,12	20123,24	3181,45
0 (Dasar)	0	1203,12	25537,28	3181,45

4.6. Kinerja Struktur Gedung

4.6.1. Kinerja Batas Layan (Δ_s)

Syarat: Δ_s antar tingkat tidak boleh melebihi

$$\Delta_s = \frac{0,03xzi}{R} = \frac{0,03x4,5}{6,5}$$

$$= 0,02077 \text{ m} = 20,77 \text{ mm}$$

atau 30 mm (dipilih yang terkecil)

Jadi, Δs antar tingkat tidak boleh melebihi 20,77 mm.

Rumus: Drift $\Delta s_n = \Delta s_n - \Delta s_{n-1}$

Tabel 4.11 Analisis Δs akibat gempa arah x

Level ke	z_i (m)	Δs_x (mm)	Drift Δs_x antar tingkat (mm)	Syarat Drift Δs (mm)	Keterangan
7	31,5	0,0404	0,0015	20,77	OK
6	27	0,0388	0,0035	20,77	OK
5	22,5	0,0353	0,0053	20,77	OK
4	18	0,0299	0,0069	20,77	OK
3	13,5	0,0230	0,0069	20,77	OK
2	9	0,0161	0,0078	20,77	OK
1	4,5	0,0083	0,0083	20,77	OK

4.6.2. Kinerja Batas *Ultimate* (Δm)

Syarat: Δm antar tingkat tidak boleh melebihi

$$\begin{aligned} \Delta m &= 0,02 \times z_i = 0,02 \times 4,5 \\ &= 0,09 \text{ m} = 90 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rumus: $\Delta m = \xi \times \Delta s$

$$\begin{aligned} \xi &= 0,7 \times 6,5 \\ &= 4,55 \end{aligned}$$

Tabel 4.12 Analisis Δm akibat gempa arah x

Level ke	z_i (m)	Δs_x (mm)	Drift Δm_x antar tingkat (mm)	Syarat Drift Δm (mm)	Keterangan
7	31,5	0,0404	0,184	90	OK
6	27	0,0388	0,177	90	OK
5	22,5	0,0353	0,161	90	OK
4	18	0,0299	0,136	90	OK
3	13,5	0,0230	0,105	90	OK
2	9	0,0161	0,073	90	OK
1	4,5	0,0083	0,038	90	OK

4.7. Penulangan Dinding Geser

4.7.1. Penulangan Geser (Horizontal dan Vertikal)

SNI 03-2847-2002 pasal 23.2.1)(3) menyebutkan bahwa ntuk daerah dengan resiko gempa menengah, harus digunakan sistem rangka pemikul momen khusus atau menengah, atau sistem dinding struktural beton biasa atau khusus untuk memikul gaya-gaya yang diakibatkan oleh gempa. Pada gedung ini digunakan SRPM Menengah dan dinding struktural beton biasa.

Contoh perhitungan tulangan horizontal untuk dinding geser lantai 1

Data-data yang diketahui:

l_w	= 450 cm	= 4500 mm	V_u	= 1203,12 kN
b_w	= 30 cm	= 300 mm	M_u	= 25537,28 kNm
f_y	= 400 MPa		N_u	= 3181,45 kN
f'_c	= 30 MPa		ρ_{min}	= 0,0025

- Paling sedikit dua lapis tulangan harus dipasang pada dinding apabila gaya geser bidang terfaktor yang dibebankan ke dinding melebihi $\frac{1}{6} A_{cv} \sqrt{f'_c}$ yang mana A_{cv} merupakan luas netto yang dibatasi oleh tebal dan panjang penampang dinding (SNI 03-2847-2002 pasal 23.6.2)(2)).

$$V_u > \frac{1}{6} A_{cv} \sqrt{f'_c}$$

$$1203,12 \text{ kN} > \frac{1}{6} \times (300 \text{ mm} \times 4500 \text{ mm}) \times \sqrt{30}$$

$$1203,12 \text{ kN} > 1232375 \text{ N}$$

$$1203,12 \text{ kN} \approx 1232,38 \text{ kN} \rightarrow \text{digunakan 2 lapis tulangan}$$

- Kuat geser nominal sistem dinding struktural yang secara bersama-sama memikul beban lateral tidak boleh melebihi $(\frac{2}{3}) A_{cv} \sqrt{f'_c}$, dengan A_{cv} adalah luas penampang total sistem dinding struktural (SNI 03-2847-2002 pasal 23.6.4)(4)).

$$(\frac{2}{3}) A_{cv} \sqrt{f'_c} = \frac{2}{3} \times (2 \times 300 \times 4500) \times \sqrt{30} = 9859006,04 = 9859,01 \text{ kN}$$

- Kuat geser nominal, V_n , dinding struktural

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y) \quad (4-4)$$

Karena $V_n = \frac{V_u}{\phi}$, maka dari rumus di atas bisa didapatkan rasio tulangan ρ_n :

$$\rho_n = \frac{\frac{V_u}{\phi} - \alpha_c \cdot \sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (4-5)$$

yang mana koefisien $\alpha = 1/4$ saat $h_w/l_w \leq 1,5$ dan $\alpha = 1/6$ saat $h_w/l_w \geq 2,0$, dan dapat digunakan interpolasi linier untuk nilai-nilai di antaranya (SNI 03-2847-2002 pasal 23.6.4)(4)).

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{4,5}{4,5} = 1 \leq 1,5 \rightarrow \text{digunakan } \alpha_c = \frac{1}{4}$$

$$\rho_n = \frac{\frac{V_u / \phi}{A_{cv}} - \alpha_c \cdot \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{\frac{1203120 / 0,55}{(300 \times 4500)} - \frac{1}{4} \cdot \sqrt{30}}{400} = 0,000628 < \rho_{\min} (0,0025)$$

Digunakan $\rho_{\min} = 0,0025$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \times A_{cv} = 0,0025 \times (300 \times 4500) \\ &= 3375 \text{ mm}^2 = 33,75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan D19 – 160 (2 lapis; $A_s = 35,80 \text{ cm}^2$)

$$\rho_n = \frac{2 \times 17,90}{300 \times 450} = 0,00265 > \rho_{\min} (0,0025)$$

$$\begin{aligned} V_n &= (300 \times 4500) \times \left(\frac{1}{4} \sqrt{30} + 0,0025 \times 400 \right) \\ &= 3198563,63 \text{ N} = 3198,56 \text{ kN} < 9859,01 \text{ kN} \rightarrow OK \end{aligned}$$

- Kontrol Kuat Geser

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$1203,12 \text{ kN} \leq 0,55 \times 3198,56 \text{ kN}$$

$$1203,12 \text{ kN} \leq 1759,21 \text{ kN} \rightarrow OK$$

Hasil perhitungan penulangan horizontal tiap lantai disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.13 Hasil perhitungan penulangan horizontal dinding geser

Lantai	bw (mm)	Vu (kN)	ρ_n perlu	ρ_{\min}	ρ dipakai	Tulangan rencana	Vn (kN)	Kontrol Kuat Geser
1	300	1203,12	0,000628	0,0025	ρ_{\min}	2D19-160	3198.564	$V_u \leq \phi \cdot V_n$
2	300	1140,63	0,000417	0,0025	ρ_{\min}	2D19-160	3198.564	$V_u \leq \phi \cdot V_n$
3	300	1035,27	0,000062	0,0025	ρ_{\min}	2D19-160	3198.564	$V_u \leq \phi \cdot V_n$
4	250	880,65	0,000135	0,0025	ρ_{\min}	2D19-200	2665.470	$V_u \leq \phi \cdot V_n$
5	250	704,07	-0,000579	0,0025	ρ_{\min}	2D19-200	2665.470	$V_u \leq \phi \cdot V_n$
6	250	485,08	-0,001463	0,0025	ρ_{\min}	2D19-200	2665.470	$V_u \leq \phi \cdot V_n$
7	250	226,13	-0,002510	0,0025	ρ_{\min}	2D19-200	2665.470	$V_u \leq \phi \cdot V_n$

Contoh perhitungan tulangan vertikal untuk dinding geser lantai 1

Data-data yang diketahui:

$$l_w = 450 \text{ cm} = 4500 \text{ mm} \qquad h_w = 450 \text{ cm} = 4500 \text{ mm}$$

$$b_w = 30 \text{ cm} = 300 \text{ mm} \qquad \rho_n = 0,00265$$

Bila $h_w/l_w < 2,0$ maka rasio tulangan vertikal ρ_v tidak boleh lebih kecil dari ρ_n (SNI 03-2847-2002 pasal 23.6.4)(3)). Karena $h_w/l_w = 1,0$ maka dipakai rasio tulangan $\rho_v = \rho_n = 0,00265$.

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_v \times A_{cv} = 0,00265 \times (300 \times 4500) \\ &= 3577,5 \text{ mm}^2 = 35,775 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Digunakan D19 – 160 (2 lapis; } A_s = 35,80 \text{ cm}^2) \end{aligned}$$

4.7.2. Pemeriksaan Terhadap Lentur dan Aksial pada Komponen Batas

Pasal 23.6(6(2a)) menyatakan bahwa dinding geser perlu diberi komponen batas khusus apabila:

$$c > \frac{l_w}{600(\delta_u / h_w)} \quad (4-6)$$

c = Jarak serat tekan terluar ke sumbu netral, ditentukan terhadap kombinasi P_u ($1,2 D + 0,5 L$) dan M_n pada diagram interaksi

l_w = Panjang bentang bersih dinding geser
= 4500 mm

δ_u = Simpangan maksimum pada gedung akibat gaya gempa (kinerja batas *ultimate*)
= 0,184 mm (tabel 4.12)

h_w = Tinggi keseluruhan bentang dinding geser
= 31500 mm

δ_u/h_w = 0,184/31500 * nilai δ_u/h_w harus diambil minimal sebesar 0,007
= 0,000006 < 0,007 (diambil 0,007)

l_w = 4500 mm

$$\frac{l_w}{600(\delta_u / h_w)} = 1071 \text{ mm}$$

Dari analisis terhadap *tributary area* (area yang didukung oleh dinding geser), didapatkan beban aksial sebagai berikut, yang rinciannya ada di lampiran 3.

Tabel 4.14 Gaya aksial P_u hasil analisis terhadap *tributary area*

Lantai	h (m)	Beban Tiap Lantai (kN)		Beban Kumulatif Lantai (kN)		Pu' 1,2 D + 0,5 L
		Mati (D)	Hidup (L)	Mati (D)	Hidup (L)	
8	31,5	361,05	36,35	361,05	36,35	451,43
7	27	358,03	87,39	719,08	123,73	924,76
6	22,5	358,03	104,68	1077,10	228,41	1406,73
5	18	358,03	104,68	1435,13	333,09	1888,70
4	13,5	383,05	88,02	1818,18	421,12	2392,38
3	9	383,05	88,02	2201,23	509,14	2896,05
2	4,5	383,05	88,02	2584,28	597,17	3399,72
1	0	0,00	0,00	2584,28	597,17	3399,72

Tabel 4.15 Gaya-gaya dalam hasil analisis terhadap *tributary area*

Level	h (m)	Gaya Dalam		
		D (kN)	M (kNm)	N (kN)
7	31,5	226,13	0,00	397,40
6	27	485,08	1017,59	842,81
5	22,5	704,07	3200,44	1305,52
4	18	880,65	6368,77	1768,22
3	13,5	1035,27	10331,70	2239,30
2	9	1140,63	14990,39	2710,38
1	4,5	1203,12	20123,24	3181,45
0 (Dasar)	0	1203,12	25537,28	3181,45

Diketahui:

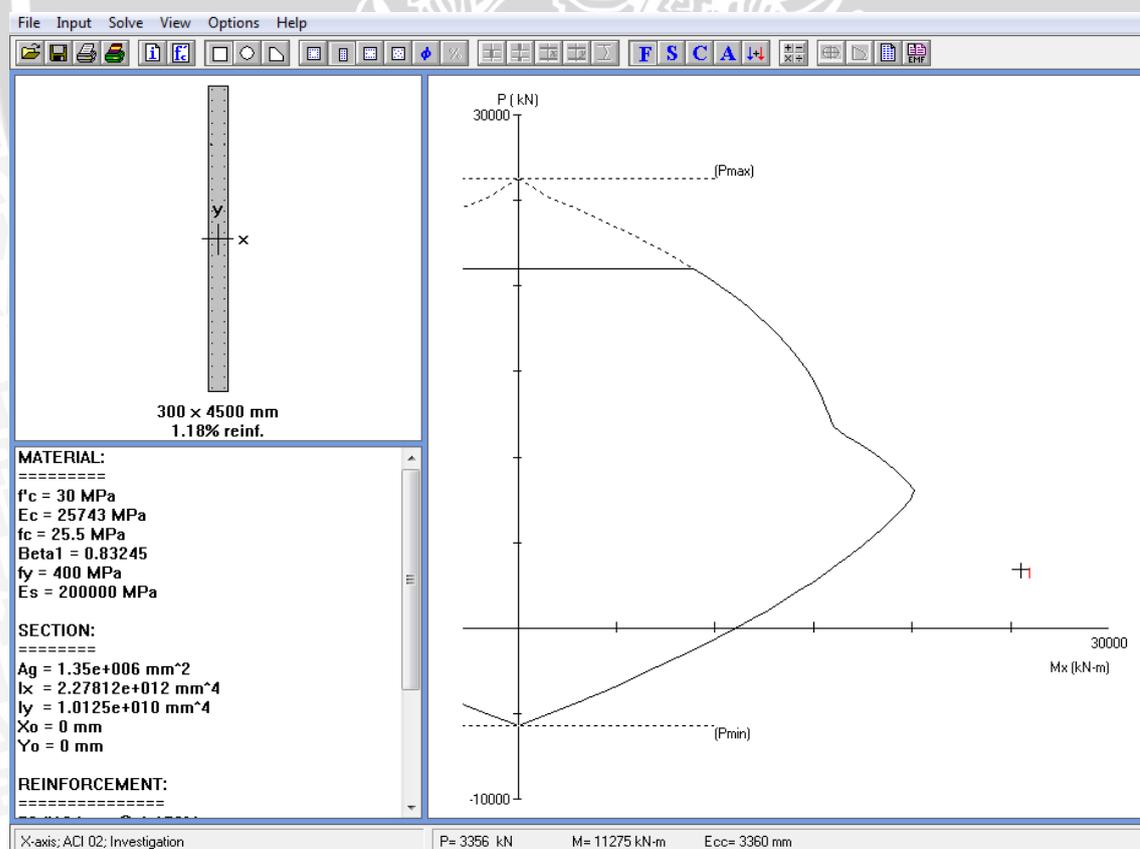
$$Pu' = 3399,72 \quad \text{kN}$$

$$Mu = 25537,28 \quad \text{kNm}$$

Tulangan vertikal terpasang: D19 - 160 (2 sisi) \rightarrow 56 - D19 (16040 mm²)

Rasio tulangan vertikal untuk diagram interaksi:

$$\rho = \frac{As}{bxd} = \frac{16040}{1350000} = 0,01188 = 1,188\%$$



Gambar 4.3 Diagram interaksi dinding geser lantai 1 s/d 3

Pemeriksaan kapasitas penampang dengan tulangan vertikal dengan bantuan diagram interaksi pada program PCACOL (Gambar 4.1), dengan faktor reduksi untuk komponen aksial dan lentur $\phi = 0,65$ (SNI 03-2847-2002 Pasal 11.3.2) menghasilkan:

$$P_n = 26272 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,65 \times 26272 > 3399,72 \\ &= 17076,8 \text{ kN} > 3399,72 \text{ kN} \rightarrow OK\end{aligned}$$

$$M_n = 15858 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,65 \times 15858 > 25537,28 \\ &= 10307,7 \text{ kNm} < 25537,28 \text{ kNm} \rightarrow \text{Tidak OK}\end{aligned}$$

Terlihat bahwa tulangan vertikal pada dinding geser tidak cukup untuk menahan lentur, sehingga rasio tulangan vertikal perlu dibesarkan.

Dari diagram interaksi, untuk kombinasi $P_u' = 3399,72$ dan $M_n = 15858$ kNm dihasilkan $c = 3230 \text{ mm} > 1071 \text{ mm}$, sehingga dinding geser perlu dipasang komponen batas khusus.

Pada badan dinding geser

$$A_g = 930000 \text{ mm}^2$$

Dengan rasio tulangan sebesar 1,3% (2 sisi) \rightarrow masing-masing sisi 0,65%

$$A_s = \rho \times A_g = 6045 \text{ mm}^2$$

Dipakai 16 – D22 ($A_s = 6190 \text{ mm}^2$)

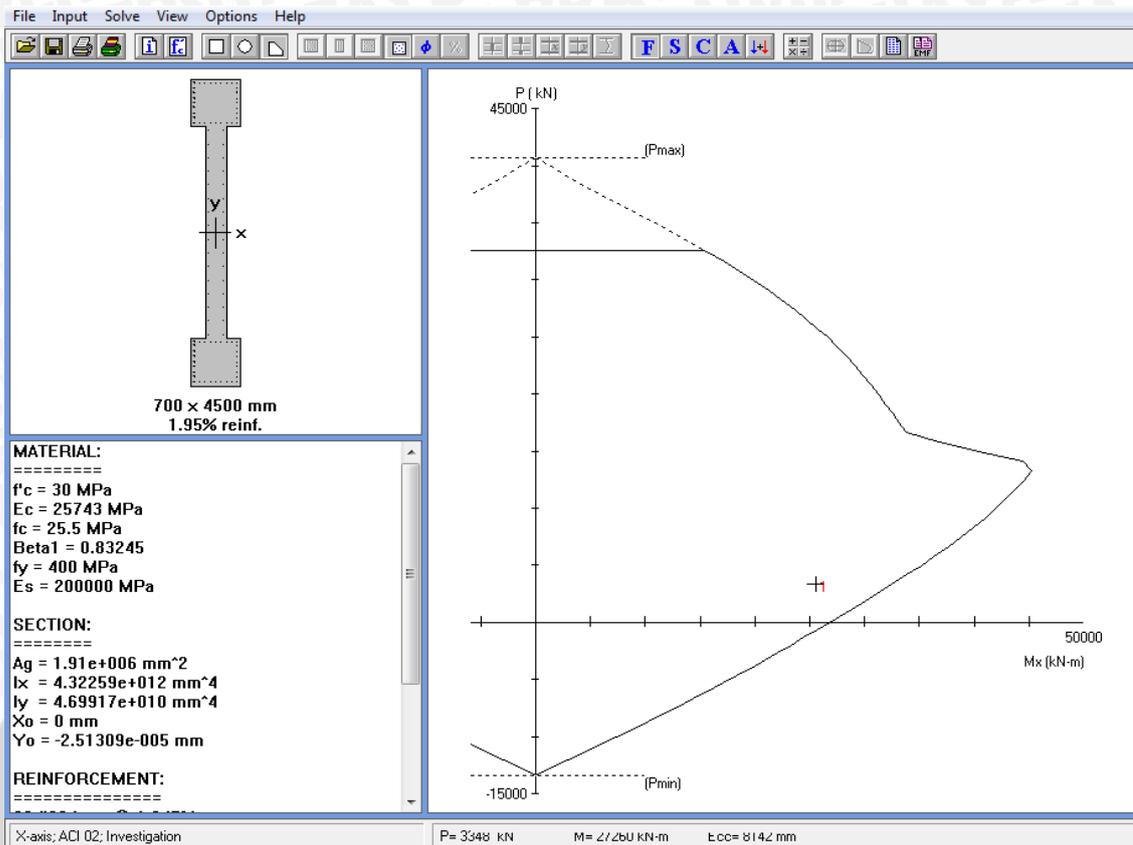
Pada komponen batas (dicoba komponen batas dengan ukuran 700 mm x 700 mm)

$$A_g = 490000 \text{ mm}^2$$

Dengan rasio tulangan sebesar 2,6% (4 sisi) \rightarrow masing-masing sisi 0,65%

$$A_s = \rho \times A_g = 3185 \text{ mm}^2$$

Dipakai 9 – D22 ($A_s = 3480 \text{ mm}^2$)



Gambar 4.4 Diagram interaksi dinding geser dengan komponen batas (lantai 1 s/d 3)

Pemeriksaan kapasitas penampang dengan tulangan pada badan dinding geser 16 – D22 (2 sisi) dan pada komponen batas 9 – D22 (4 sisi), dengan faktor reduksi untuk komponen aksial dan lentur $\phi = 0,65$ (SNI 03-2847-2002 Pasal 11.3.2) menghasilkan:

$$P_n = 40884 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,65 \times 40884 > 3399,72 \\ &= 26574,6 \text{ kN} > 3399,72 \text{ kN} \rightarrow OK \end{aligned}$$

$$M_n = 45480 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,65 \times 45480 > 25537,28 \\ &= 29562 \text{ kNm} > 25537,28 \text{ kNm} \rightarrow OK \end{aligned}$$

Sehingga tulangan yang dipasang pada badan dinding geser dan komponen batas memadai untuk menahan aksial dan lentur.

Hasil pemeriksaan terhadap kapasitas penampang dinding geser dengan komponen batas pada tiap lantai disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.16 Pemeriksaan kapasitas penampang dinding geser dengan komponen batas

Lantai	Pu (kN)	Pn (kN)	$Pu \leq \phi Pn$	Mu (kNm)	Mn (kNm)	$Mu \leq \phi Mn$
1	3399,72	40884	OK	25537,28	45480	OK
2	2896,05	40884	OK	20123,24	45480	OK
3	2392,38	40884	OK	14990,39	45480	OK
4	1888,70	38352	OK	10331,70	44289	OK
5	1406,73	38352	OK	6368,77	44289	OK
6	924,76	38352	OK	3200,44	44289	OK
7	451,43	38352	OK	1017,59	44289	OK

Berikut ini disajikan hasil perhitungan penulangan dinding geser untuk tiap lantai (gambar penulangan ada di lampiran 5):

Tabel 4.17 Hasil akhir penulangan dinding geser dengan komponen batas

Lantai	Badan dinding geser				Komponen Batas		
	bw (mm)	Tulangan horizontal	Tulangan vertikal	Keterangan	Ukuran (mm x mm)	Tulangan	Keterangan
1	300	2D19 – 160	16 – D22	2 sisi	700 x 700	9 – D22	4 sisi
2	300	2D19 – 160	16 – D22	2 sisi	700 x 700	9 – D22	4 sisi
3	300	2D19 – 160	16 – D22	2 sisi	700 x 700	9 – D22	4 sisi
4	250	2D19 – 200	16 – D22	2 sisi	700 x 700	9 – D22	4 sisi
5	250	2D19 – 200	16 – D22	2 sisi	700 x 700	9 – D22	4 sisi
6	250	2D19 – 200	16 – D22	2 sisi	700 x 700	9 – D22	4 sisi
7	250	2D19 – 200	16 – D22	2 sisi	700 x 700	9 – D22	4 sisi

4.8. Pembahasan

Pada gedung dengan Sistem Ganda ini, perencanaan khusus dilakukan pada dinding geser, sehingga komponen struktural lainnya seperti pelat dan balok hanya diperhitungkan sebagai beban. Sedangkan kolom, hanya diperhitungkan kekakuan relatifnya terhadap seluruh sistem struktur, berdasarkan taksiran ukuran penampang yang dilakukan. Ketebalan dinding geser direncanakan dengan menghitung kekakuan lateral/geser untuk Sistem Ganda, yang merupakan kombinasi antara SRPM dengan dinding geser, yang mana disyaratkan bahwa minimal 25% beban lateral ditumpu oleh SRPM dan sisanya ditumpu oleh dinding geser. Dengan perhitungan yang dilakukan, didapatkan ketebalan dinding geser sebesar 30 cm (untuk lantai 1 sampai dengan 3) dan 25 cm (untuk lantai 4 sampai dengan 7).

Eksentrisitas merupakan selisih antara pusat massa dengan pusat kekakuan yang besarnya harus dibatasi agar tidak terjadi rotasi pada gedung. Eksentrisitas yang terjadi pada gedung sangat dipengaruhi oleh penempatan komponen-komponen yang berfungsi

untuk menahan gaya lateral, yaitu kolom dan dinding geser. Karena dinding geser memiliki kekakuan yang jauh lebih besar dari kolom, maka penempatannya harus lebih diperhatikan, agar eksentrisitas yang terjadi tidak terlalu besar. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan eksentrisitas terbesar pada gedung dalam arah gempa yang ditinjau (arah Y) terjadi pada lantai 5, yaitu sebesar 0,25 m. Nilai ini terbilang kecil, mengingat dalam arah gempa yang ditinjau, yakni arah Y, panjang gedung adalah sebesar 59,4 meter. Untuk itu dapat disimpulkan bahwa penempatan dinding geser pada lajur B dan K sudah cukup memadai untuk menahan gempa dalam arah melintang tanpa adanya eksentrisitas berlebihan.

Dari perhitungan massa bangunan, didapatkan gaya geser dasar nominal V , yang besarnya sebesar 327046,28 kg. Kemudian gaya geser dasar nominal itu didistribusikan menjadi gaya geser horizontal F_i yang berkerja pada tiap lantai. Untuk menghitung gaya lateral yang bekerja pada portal dinding geser, dilakukan distribusi terhadap F_i untuk tiap portalnya sesuai proporsi beban yang telah ditetapkan (sesuai dengan kekakuan lateral), yaitu 25% untuk portal SRPM dan 75% untuk portal dinding geser. Dengan memodelkan dinding geser sebagai kantilever, didapatkan gaya geser dan momen lentur pada tiap lantai. Sedangkan gaya aksial didapatkan dengan analisis terhadap *tributary area*, yaitu area yang didukung oleh dinding geser, meliputi semua beban hidup dan beban mati yang ditumpu oleh dinding geser pada area tersebut, termasuk berat dinding geser itu sendiri.

Gaya geser, momen lentur dan gaya aksial digunakan untuk perhitungan penulangan dinding geser. Dari perhitungan tulangan geser yang dilakukan, untuk dinding geser lantai 1 sampai dengan 3, diperlukan tulangan horizontal D19 – 160 (2 lapis), dan tulangan vertikal D19 – 160 (2 lapis). Sedangkan untuk dinding geser lantai 4 sampai dengan 7, diperlukan tulangan horizontal D19 – 200 (2 lapis), dan tulangan vertikal D19 – 200 (2 lapis). Tulangan vertikal terpasang perlu diperiksa kapasitasnya terhadap aksial dan lentur. Untuk memeriksa komponen batas, dilakukan analisis terhadap gaya aksial berdasarkan beban mati dan beban hidupnya yang dikombinasikan sebesar $P_u' = 1,2 D + 0,5 L$. P_u' dari beban mati dan beban hidup ini kemudian dikombinasikan dengan M_u pada diagram interaksi dengan bantuan program PCACOL. Pada diagram interaksi, didapatkan bahwa untuk tulangan vertikal yang terpasang masih cukup memadai untuk menahan aksial ($\phi P_n > P_u'$), namun tidak memadai untuk menahan lentur ($\phi M_n < M_u'$), sehingga rasio tulangan perlu dibesarkan. Sedangkan dari kombinasi $P_u' = 3399,72$ dan $M_n = 15858$ kNm dihasilkan $c = 3230$ mm, yang

nilainya lebih besar dari yang disyaratkan pada persamaan 4-6 (1071 mm) sehingga dinding geser perlu dipasang komponen batas khusus. Setelah dipasang komponen batas sebesar 700 mm x 700 mm dengan rasio tulangan sebesar 2,6% untuk 4 sisi atau 0,65% untuk tiap sisi (dipakai 16 – D22) dan rasio tulangan pada badan dinding geser sebesar 1,3% untuk 2 sisi atau 0,65% untuk tiap sisi (dipakai 9 – D22) didapatkan bahwa dinding geser sudah cukup memadai untuk menahan aksial ($\phi P_n > P_u$) dan lentur ($\phi M_n > M_u$).

